

固态相变原理及应用 实验与习题

(第二版)

高路斯 张贵锋 黄 昊 编著

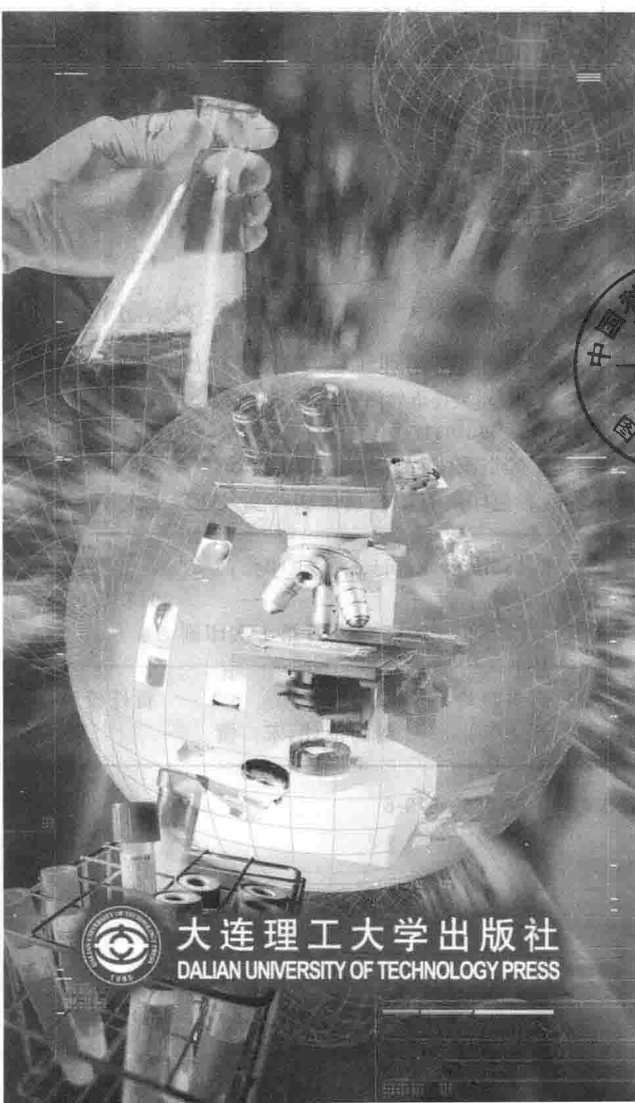


大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

固态相变原理及应用 实验与习题

(第二版)

高路斯 张贵锋 黄 昊 编著



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

固态相变原理及应用实验与习题 / 高路斯, 张贵锋,
黄昊编著. — 2 版. — 大连: 大连理工大学出版社,
2016.9

ISBN 978-7-5685-0579-6

I. ①固… II. ①高… ②张… ③黄… III. ①固态相
变—高等学校—教学参考资料 IV. ①O414.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 217030 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84706041 邮购:0411-84706041 传真:0411-84707403

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://www.dutp.cn

大连美跃彩色印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:6.5 字数:146 千字

2012 年 8 月第 1 版 2016 年 9 月第 2 版

2016 年 9 月第 1 次印刷

责任编辑:王晓玲

责任校对:韩 慧

封面设计:宋 蕾

ISBN 978-7-5685-0579-6

定 价:14.00 元

第二版前言

《固态相变原理及应用实验与习题》自 2012 年 8 月出版以来,受到校内外读者及广大报考硕士研究生学生的欢迎。本书由三部分构成,固态相变原理及应用实验,培养学生动手能力;内容提要、重要概念和思考题,帮助学生复习、归纳和总结;试题库,加深学生对知识点的理解。作为《固态相变原理》教材的教辅材料,编著者希望通过实验和习题,夯实基础理论知识,使学生的动手能力、应用能力和综合分析能力得到提高。

在对全书系统分析和综合教师及部分读者意见的基础上,我们对该书内容做了全面修订,修改了符号、文字及其他错误,应广大学生的要求增加了习题参考答案。

《固态相变原理及应用实验与习题(第二版)》由高路斯、张贵锋和黄昊编著。其中高路斯负责应用实验部分,张贵锋和黄昊负责内容提要、重要概念、思考题和试题库部分,全书由张贵锋统稿。

本书的再版得到了“高等学校本科教学改革与教学质量工程建设”项目的资助,在此表示衷心感谢!

由于作者水平所限,缺点和错误在所难免,肯望广大师生和读者斧正。

作者

2016.8

第一版前言

本书为《固态相变原理及应用》一书的配套教材。固态相变原理是材料科学基础与金属材料学之间的桥梁,是打开调控金属材料性能的一把金钥匙,是金属材料类专业的本科生必须掌握的专业基础知识。编写本教材的目的是满足学生学习固态相变原理及应用的要求,使其通过本课程的学习,能够熟练掌握调控金属材料性能的基本理论和知识,熟悉热处理工艺、组织结构与材料性能之间的内在联系,培养学生对固态相变原理的实际应用能力。

本书内容分为两部分:第一部分为固态相变原理及应用实验,包含与课程内容紧密相关且具有实际应用意义的七个实验和附录。通过实验操作,使学生掌握和了解材料的组织结构特征及其转变条件和规律,加深对金属固态相变原理的认识。第二部分为固态相变原理及应用课程的内容提要、重要概念和思考题,该内容对固态相变原理及应用课程的内容进行了高度概括,并将学生应当掌握的知识要点以不同的习题形式反映出来,便于学生理解基本原理,进一步掌握基础理论和知识,巩固所学内容。习题内容覆盖课程中的所有知识点。

本书的主要特点在于,以固态相变原理及应用课程的教学大纲为中心,以针对性和应用性为准则,着重培养学生的动手能力、应用能力和综合分析能力。本书既可以帮助学生进行课程内容的练习、复习和自学提高,也可以作为报考相关专业硕士研究生的复习资料。

本书实验部分初稿由大连理工大学材料科学与工程学院高路斯完成,各章内容提要、重要概念、思考题和试题库由大连理工大学材料科学与工程学院张贵锋编写。全书由张贵锋统稿。

在编写本书的过程中,我们参阅了许多相关教材、文献资料和金相照片,在此对相关作者表示衷心感谢。

作者

2012.8

目 录

第一章 固态相变原理及应用实验	1
实验一 奥氏体晶粒度的测定	1
实验二 钢的过冷奥氏体等温转变曲线测定	8
实验三 珠光体转变及显微组织观察	12
实验四 马氏体转变及显微组织观察	15
实验五 钢的回火转变及显微组织观察	18
实验六 钢的淬透性测定	21
实验七 混合组织分析	27
第二章 内容提要、重要概念和思考题	31
1 固态相变概论	31
2 固态相变的热力学原理	33
3 固态相变的动力学原理	34
4 扩散型相变(Ⅰ)——奥氏体化	35
5 扩散型相变(Ⅱ)——珠光体转变	36
6 扩散型相变(Ⅲ)——脱溶沉淀	37
7 非扩散型相变——马氏体转变	39
8 半扩散型相变——贝氏体转变	42
9 制定热处理工艺的依据	43
10 退火与正火	44
11 淬 火	46
12 回 火	47
13 表面热处理	49
第三章 试题库	51
附 录	73
附录 I 金相显微镜及其使用	73
附录 II 金相试样的制备	78
附录 III 硬度计及其使用	84
附录 IV 参考答案	90
参考文献	96

第一章 固态相变原理及应用实验

实验一 奥氏体晶粒度的测定

一、实验目的

1. 掌握奥氏体晶粒度的测定原理和方法。
2. 熟悉影响奥氏体晶粒大小的因素。

二、概述

金属及合金的晶粒大小与其机械性能、工艺性能和物理性能有密切的关系。一般情况下,晶粒越小,金属的强度、塑性和韧性越好。因此,可以通过细化晶粒来提高金属材料的力学性能,这种方法称为细晶强化。某些场合也希望粗大晶粒,例如,高温下服役的金属材料晶粒长大倾向大,细晶强化不可取;永磁合金铸件希望得到定向生长的粗大柱状晶粒;硅钢片的磁滞损耗随晶粒增大而下降。因此,金属材料的晶粒大小必须可控。这就要求人们熟悉影响晶粒尺寸的因素,掌握晶粒大小的评定标准和方法。

金属固态相变时奥氏体是母相,大多数热处理工艺规范中奥氏体化是热处理工序的第一步。奥氏体晶粒大小是评定钢质量的重要标准之一,对钢的冷却转变组织和性能都有十分重要的影响。因此,奥氏体化的核心内容是实现奥氏体晶粒尺寸的可控,以获得要求的晶粒大小。

“晶粒度”是晶粒大小的量度。国际上通用的方法是,设 n 为放大 100 倍时每 $645.16 \text{ mm}^2 (1 \text{ in.}^2)$ 面积内的晶粒数,则下式中的 N 被用来表示晶粒大小的级别,称为晶粒度。

$$n = 2^{N-1} \quad (1-1)$$

晶粒越细, n 越大, N 也越大。一般地,当 N 小于 4 时,称为粗晶粒;当 N 为 5~8 时,称为细晶粒;当 N 大于 8 时,称为超细晶粒。根据我国国家标准 GB6394—2002 的规定,确定平均晶粒度的基本方法有:比较法和直接测量法。比较法是与标准图片比较;直接测量法包括面积法和截点法。

研究奥氏体晶粒度时,要弄清几个重要概念,即起始晶粒度、实际晶粒度和本质晶粒度。

1. 起始晶粒度

临界温度以上,奥氏体转变刚刚完成所对应的奥氏体晶粒大小。起始晶粒度一般都比较细小。

2. 实际晶粒度

钢在某一具体的奥氏体化工艺条件下,奥氏体实际的晶粒大小。实际晶粒度与起始晶粒度不同,起始晶粒度是奥氏体刚刚形成(即其晶粒边界刚刚接触)时的晶粒大小,而实际晶粒度是奥氏体长大一定时间后的晶粒大小。所以,一般情况下实际晶粒的直径比起始晶粒的直径大。

3. 本质晶粒度

标准奥氏体化条件下的奥氏体晶粒大小。即将钢加热至 930 ± 10 °C,并保温足够长的时间(一般 3~8 小时)后测得的奥氏体晶粒的大小。很显然,本质晶粒度反映了钢加热及保温时奥氏体晶粒长大的倾向性。经上述试验后,奥氏体晶粒度为 1~4 级称为本质粗晶粒钢,为 5~8 级称为本质细晶粒钢。

三、奥氏体晶粒度测定原理

1. 基本原理

一般来说,奥氏体是高温稳定相,在高温下观察和测量奥氏体晶粒大小是不现实的。由于奥氏体是母相,新相都是从母相的晶界开始形核长大。奥氏体化后快速冷却到室温,无论是否发生了相变,原奥氏体晶界仍然被保留下来,只要将晶界显现出来,就能确定奥氏体晶粒的大小。

2. 晶界的显现方法

将晶界显现出来,就能方便地确定原始晶粒的大小,表 1-1 列出了晶界显现的几种方法,其中渗碳法和氧化法较为常用。

表 1-1 晶界显示方法

处理方法	处理工艺	显示方法及适用范围
渗碳法(网状碳化物法)	将低、中碳钢试样加热至 930 ± 10 °C 渗碳后保温 6~8 小时,获得 1 mm 以上渗碳层,然后缓冷,保证在晶界上形成连续的网状碳化物。 对含碳量大于 0.9% 的过共析钢,只需 930 ± 10 °C 保温 3 小时缓冷即可。	用硝酸酒精溶液或苦味酸酒精溶液腐蚀金属试样,晶界呈白色网状。或用碱性苦味酸钠溶液腐蚀金属试样,晶界呈黑色网状。
网状铁素体法	将试样在 930 ± 10 °C 保温 3 小时后移至 730 ± 10 °C 的盐浴炉或空气炉中等温 10 分钟后淬火,然后在 600 °C 左右回火。晶界上形成网状铁素体,而晶粒内部为其他组织。	用硝酸酒精溶液或苦味酸酒精溶液腐蚀金属试样,晶界呈白色铁素体网。适用于中碳钢及中碳合金钢。
网状珠光体法(一端淬火法)	将试样在 930 ± 10 °C 保温 3 小时,然后一端淬入水中,在过渡区的奥氏体晶界上形成网状珠光体,晶粒内为马氏体。	用盐酸苦味酸酒精溶液、硝酸酒精溶液或苦味酸酒精溶液腐蚀金属试样,晶界均为灰黑色细珠光体。适合接近共析成分的钢。
氧化法	将制备好的金相试样在保护气氛中加热至 930 ± 10 °C 保温 3 小时,之后通入空气 1 分钟后淬火。奥氏体晶界被氧化,试样经轻微抛光。	用盐酸酒精溶液或盐酸苦味酸酒精溶液腐蚀金相试样,晶界呈黑色网状。适合中碳钢及合金钢。

(续表)

处理方法	处理工艺	显示方法及适用范围
淬硬法(晶粒边界腐蚀法)	将试样经 930 ± 10 °C 保温 3 小时, 在水或盐水中急冷后用断口法或金相法显示晶界或晶粒组织。	用盐酸苦味酸酒精溶液或加有烷基磺酸盐的苦味酸饱和水溶液腐蚀金属试样, 晶界呈黑色网状。适合于淬火后得到马氏体或贝氏体组织的钢。
淬硬并在 250 °C 回火法	将淬火后的试样经 250 °C 回火。	用盐酸苦味酸酒精溶液腐蚀金属试样, 晶粒衬度不同。适合于淬火后获得马氏体组织的钢。

3. 晶粒度的测量方法

(1) 比较法

用比较法测定晶粒度时, 把已制备好的试样放在 100 倍显微镜下观察, 将观察的结果与标准晶粒度评级图(见图 1-1)进行比较, 将最接近的标准晶粒度级别定为试样的晶粒度级别。在实际评定中, 由于试样晶粒大小的不均匀性, 很少遇到属于单一等级的晶粒度, 评定时可跨越 2~3 个晶粒度级别, 例如 7~8 级、5~7 级等, 前面的数值表示占主要数量的晶粒度等级。如只标出一个级别时, 则表明该级别的晶粒数目应在 90% 以上。

实际测定时, 可将被测试样的晶粒金相图投影在毛玻璃上, 在直径相似的范围内与标准晶粒度评级图比较。目测时, 要考虑目镜筒内视域范围大小, 如视域直径为 0.8 mm, 则要用直径 80 mm 的标准图片对照评定。如果放大倍数不是 100 倍, 则可先按标准晶粒度评级图测定晶粒度, 然后按表 1-2 换算成 100 倍时的标准晶粒度级别。

比较法测定钢的晶粒度较为简单、实用, 应用较为广泛。

表 1-2 与标准评级图等同图像的晶粒度级别

图像的 放大倍数	与标准评级图编号等同图像的晶粒度级别									
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
25	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
50	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
100	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
200	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
400	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
800	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

(2) 面积法

晶粒在三维空间呈颗粒状, 有一定的体积。所以表示晶粒大小的理想方法是求出晶粒的平均体积或单位体积内含有的晶粒数目。为简便起见, 可以采用给定截面上截取的晶粒数(面积法)来表示晶粒度。

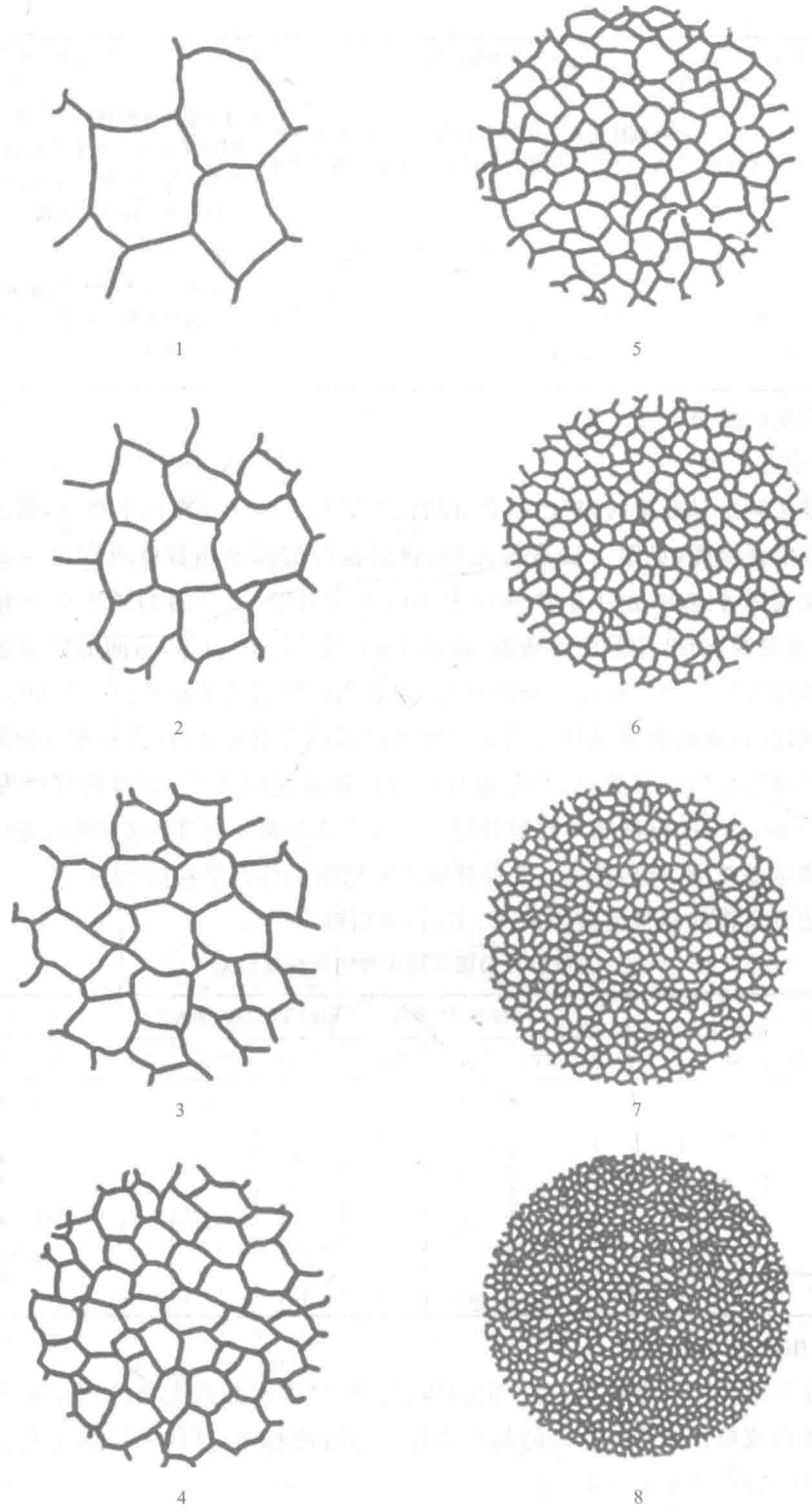


图 1-1 钢的晶粒度评级图(100×)

将已知面积(通常使用 5000 mm^2)的圆形网格置于晶粒图像上,选用视场内至少能获得 50 个晶粒的放大倍数,统计完全落在测量网格内的晶粒数 $n_{\text{内}}$ 和被网格所切割的晶粒数 $n_{\text{交}}$,如图 1-2 所示。定义该面积内的晶粒数 n 为

$$n = n_{\text{内}} + 1/2 n_{\text{交}} - 1 \quad (1-2)$$

则试样检验面上每平方毫米内的晶粒数 n_a 为

$$n_a = M^2 n / A \quad (1-3)$$

式中, M 为观察放大倍数, A 为测量网格面积(mm^2)。

晶粒度级别指数 N 为

$$N = 3.3219 \lg n_a - 2.954 \quad (1-4)$$

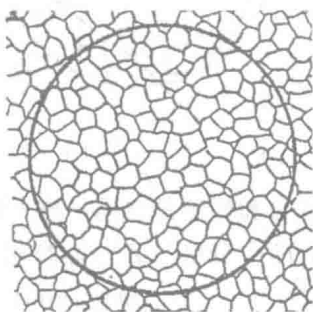


图 1-2 面积法示意图

(3) 截点法

截点法是通过统计给定长度上与晶粒晶界相交的截点数 P 来表征晶粒度等级的测量方法。对于非均匀等轴晶粒的各种显微组织,应使用截点法。截点法既可以测定三个相互垂直方向的晶粒度,也可计算总体的平均晶粒度。

测定前,先初步观察晶粒的均匀性,然后选择有代表性的部位、合适的放大倍数和直线长度,以保证最少能获得约 50 个截点。晶粒过大或过小时,放大倍数可缩小或放大。一般应任选 3~5 个视场进行测量,且测量线终点不是截点的不予计算;端点正好接触到晶粒时,应计为 1/2 个截点;测量线与晶界相切时应计为一个截点;与三个晶粒汇合点重合的,应计为 1.5 个截点。

具体方法是,在一定的放大倍率下投影成像后划几根(3~5 根)长度相等的平行线,如图 1-3 所示,确定截点数 P ,按公式计算平均截距(或弦长)

$$D = L / MP \quad (1-5)$$

式中, L 为所用测量线段的长度(单位: mm); M 为放大倍数; P 为测量线上的截点数。最后根据平均截距计算平均晶粒度级别

$$N = 6.643856 \lg(MP/L) - 3.288 \quad (1-6)$$

由于显微镜中看到的晶粒像是虚像,无法用尺直接测量。因此,平均截距的确定是用目镜测微尺确定的。具体方法是:使用带有刻度的目镜,选择适当的区域,观察到的图像如图 1-4(a)所示。要确定晶粒的平均截距 D ,就必须首先确定目镜尺每格的真实长度 C 。为此,需要对目镜尺加以标定,用一支已知长度(1 mm)带有 100 个分格的物镜尺替代试样放置在显微镜载物台上,保持原放大倍数不变,使物镜尺和目镜尺成像在同一平面上

(见图 1-4(b)),并使两者相互平行且尽量接近。物镜尺每分格的实际长度是 0.01 mm,假定目镜尺的 m 个分格正好与物镜尺的 n 个分格相对应,则目镜尺每分格在此放大倍数下的真实长度 C 为

$$C = n \times 0.01 / m \quad (\text{单位: mm}) \quad (1-7)$$

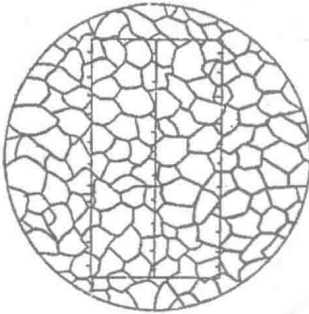
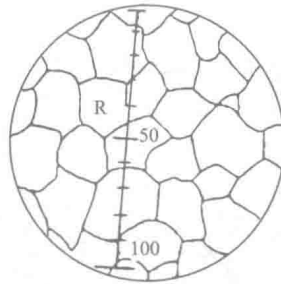
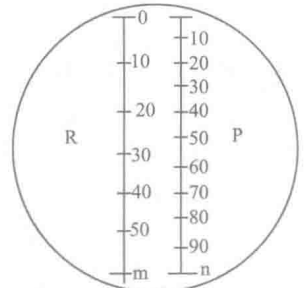


图 1-3 截点法示意图



(a)



(b)

图 1-4 目镜测微尺直接测量示意图

C 与放大倍率有关,但只要测量和标定是在同一放大倍数下进行,则不论放大倍数如何改变也不影响测定结果。设有 H 个分格与 Z 个晶粒相截(见图 1-4(a)),则平均截距

$$D = HC / Z \quad (\text{单位: mm}) \quad (1-8)$$

根据 D 值查表 1-3,就可得到晶粒等级。

表 1-3 奥氏体晶粒度与其他晶粒大小表示方法的比较

晶粒级数	放大 100 倍时每 645 mm ² 面积 内所含平均晶粒 数目	实际每 1 mm ² 面积中平均含有 晶粒数目	平均每个晶粒所 占的面积/mm ²	计算的晶粒平均 直径 d /mm	平均截距 D /mm
-1*	25	4	0.25	0.5	0.444
0	5	8	0.125	0.353	0.313
1	1	16	0.0625	0.250	0.222
2	2	32	0.0312	0.177	0.157
3	4	64	0.0156	0.125	0.111
4	8	128	0.0078	0.088	0.0783
5	16	256	0.0039	0.062	0.0553
6	32	512	0.00195	0.044	0.0391
7	64	1024	0.00098	0.031	0.0267
8	128	2048	0.00049	0.0220	0.0196
9	256	4096	0.000244	0.0156	0.0138
10	512	8192	0.000122	0.0110	0.0098

* 为了避免在晶粒度号前出现“-”号,一般把-3,-2,-1等晶粒度号改写成0000,000及00号。

四、实验设备和材料

实验设备:电炉、砂纸、抛光机、腐蚀剂、金相显微镜、目镜测微尺。

实验材料:20MnVB 或 T12A。

五、实验步骤及注意事项

1. 选用 1~2 种钢材制成试样, 在所有试样侧面打上钢号和序号。20MnVB 钢可采用氧化法, T12A 钢可采用碳化物法。

2. 根据实验条件(加热温度)分成若干组, 每组做一种实验。分别在 850 °C、900 °C、930 °C、1000 °C、1050 °C、1100 °C 六个温度下奥氏体化后快速冷却。

3. 制备金相试样。

4. 分别用比较法和截点法(用目镜测微尺直接测量)测定晶粒度, 将结果列入表 1-4。

表 1-4 晶粒度测定实验结果

钢种		温度/°C	850	900	930	1000	1050	1100
		20MnVB	比较法					
截点法								
T12A	比较法							
	截点法							

5. 将各组实验结果在图 1-5 上标出后连成线, 与图中曲线①和②比较。其中曲线①表示本质细晶粒钢, 曲线②为本质粗晶粒钢。

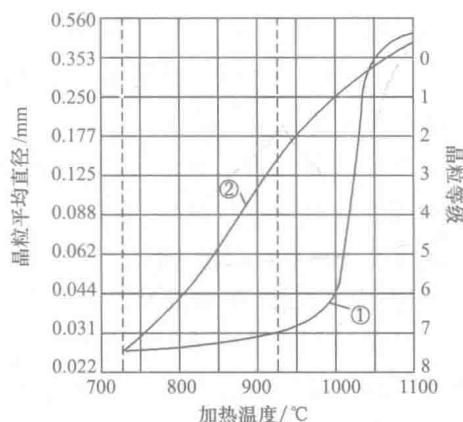


图 1-5 加热温度和晶粒大小的关系

注意事项:

1. 试样出炉后要快冷。

2. 制备金相试样时, 磨量要适当, 磨量太少, 只能看见氧化层; 磨量太多, 看不到被氧化的晶界。可以有意把试样表面磨成一个倾斜面, 经抛光、侵蚀后, 一部分表面呈光亮, 一部分表面呈暗黑, 这样在过渡区即可找到磨量适当的部位。

六、实验报告要求

1. 简述实验目的。

2. 完成上述实验内容, 填写表 1-4, 在图 1-5 中画出晶粒平均尺寸与加热温度的关系曲线。

3. 分析实验结果, 确定本实验用钢的本质晶粒度。

实验二 钢的过冷奥氏体等温转变曲线测定

一、实验目的

1. 了解 C 曲线测定的基本原理。
2. 了解如何应用金相硬度法测定 C 曲线。
3. 了解过冷奥氏体等温转变的显微组织特征及其硬度变化规律。

二、实验原理

过冷奥氏体等温转变动力学图及连续转变动力学图,是制定热处理工艺、合理选择钢材及预测热处理后零件性能的重要依据。

C 曲线的测定方法包括:金相硬度法、磁性法、膨胀法、电阻法、热分析法以及 X 射线衍射法等。其中金相硬度法、磁性法和膨胀法最常用。

1. 金相硬度法

金相硬度法的基本原理是,通过观察金相组织并测定硬度,确定过冷奥氏体在不同等温温度下各转变阶段的转变产物及其体积分数,根据转变产物体积分数的变化来确定过冷奥氏体等温转变的起止时间,从而绘制出等温转变图。

通常将 $M_s \sim A$ 之间的温度区域分为若干等份,选取分界点的温度 $t_1, t_2, t_3 \dots$ 作为等温温度,将一组预先退火或正火处理的圆片状试样(直径 10~15 mm、厚 1.0~1.5 mm)奥氏体化后,迅速移至某选定温度等温不同时间,随即迅速淬入盐水中。等温过程中未转变的过冷奥氏体在淬火时将转变为马氏体,而等温转变产物则保留下来并分布于马氏体中,在金相显微镜下很容易识别它们。一般出现 1% 的转变产物对应的等温时间记为转变开始时间,98% 转变产物对应的等温时间记为转变终止时间。将不同温度下转变开始点和转变终止点连成光滑曲线,就得到 C 曲线。

金相硬度法的优点是能准确测出转变开始点和终止点,能直接观察到转变产物的组织形态、分布及其相对量,缺点是需大量金相试样,耗时较长。

2. 膨胀法

采用热膨胀仪测定钢在相变时比容的变化来确定过冷奥氏体在等温过程中转变的起止时间。使用直径 3~5 mm、长 10~50 mm 的圆柱形小试样,将其奥氏体化后,分别在不同温度下等温停留,此时热膨胀仪将自动记录等温转变时引起的膨胀效应与时间的关系,如图 2-1 所示。其中 bc 段是过冷奥氏体的纯冷却收缩, cd 段是等温转变前的孕育期,从 d 点开始发生相变,至 e 点相变结束。将所得的一系列膨胀量与时间的变化曲线加以整理便可绘制出 C 曲线。

膨胀法的优点是测量时间短,所需试样少。但当膨胀曲线变化较平缓时,转折点不易被精确测出。

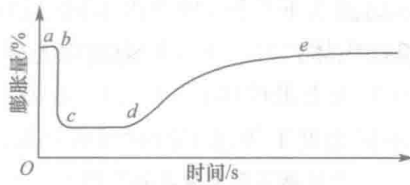


图 2-1 等温转变时膨胀量—时间曲线

3. 磁性法

磁性法的原理是利用奥氏体为顺磁性，而奥氏体的分解产物铁素体、珠光体、贝氏体以及马氏体等均为铁磁性的特点，通过相变引起的由顺磁性到铁磁性的变化来确定转变的起止时间及转变量与时间的关系。

将被研究的试样($\phi 3 \text{ mm} \times 330 \text{ mm}$)放在磁场中，当试样呈非铁磁性的奥氏体状态时，不受磁场力的作用。如果在试样中出现铁磁性相，则试样受磁力作用而发生偏转，偏转角度大小与铁磁相数量成正比。

磁性法的优点是测量时间短，所需试样少。但不能测出先共析渗碳体的析出线和亚共析钢珠光体转变的开始线，因为渗碳体的居里点为 $230 \text{ }^\circ\text{C}$ ，而珠光体和铁素体都呈铁磁性。

可见，各种方法都有其优缺点，故实际生产中往往将几种测试方法相互结合，相互校正，取长补短。

对共析钢，按上述方法测得新相转变动力学曲线(转变体积分数与时间的关系曲线)如图 2-2(a)所示，均呈“S”形，即相变开始和结束阶段，相变速度较慢，而相变中期转变速度最快。将实验数据改绘成温度—时间曲线，就得到“C”曲线，如图 2-2(b)所示。

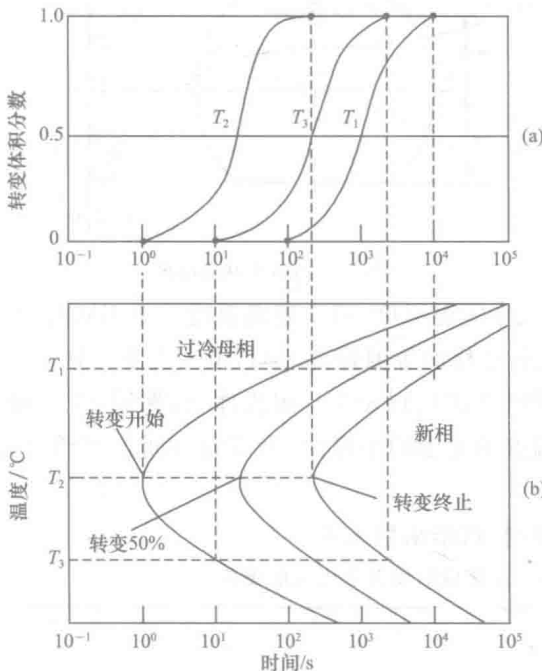


图 2-2 共析钢的等温转变综合动力学曲线

6. 将样品制备成金相试样,在 500 倍显微镜下观察金相组织。
7. 根据硬度和金相组织的变化确定等温转变开始点和终止点。
8. 将各组实验结果综合后填入表 2-3,建立 C 曲线。

表 2-3 等温转变时间(s)

等温温度/°C	650	600	550	500	450	400	350	300
相变特征点								
转变开始点/s								
转变终止点/s								

五、实验报告要求

1. 简述实验目的。
2. 简述建立 C 曲线的基本原理和方法。
3. 根据所测定的等温转变图,分析在所测试的冷却速度下的组织变化情况。
4. 根据所得实验结果,在对数坐标纸上绘出 C 曲线。
5. 分析实验结果,将绘制的 C 曲线与钢的等温转变曲线手册相比较,分析影响 C 曲线测定结果的因素。